

鱼类染色体研究*

周 瞰

(武汉大学生物系细胞遗传学实验室)

鱼是脊椎动物中分布最广、种类最多的一个类群,具有极其多样的生物学特性和重大经济价值。考察鱼类染色体,对研究鱼类的遗传、变异、分类、系统演化以及杂交育种等,都具有重大意义。但鱼类染色体一般都多而小,考察困难,研究工作进展较为缓慢。五十年代以来,由于对人类染色体的研究在技术上有一系列的改进和创新。六十年代初,又建立了人类染色体的分类和命名的统一系统,从而极大地促进了对鱼类染色体的研究。1966年, Ojima等首先将低渗处理细胞和空气干燥法制片应用到鱼类染色体研究中,取得了良好的效果,第一个作了鱼的核型分析。随后,一些学者,又相继建立了鱼的外周血培养(Ojima等, 1970; Heckman等, 1970)、鳞上皮细胞培养(Ojima等, 1972)、卵巢组织培养(Chen等, 1970)、以及鱼的肾细胞PHA法培养(Yamamoto等, 1973)等以研究鱼类染色体为目的的体外细胞短期培养方法,因而,鱼类染色体研究进入了蓬勃发展的阶段。到1980年,已有过染色体研究报道的鱼类种类数累计达1076种。(Васильев, 1980)占世界上现存鱼类种类总数的5%左右。

国内对鱼类染色体的研究始于七十年代初。1975年才有报道。随后,从1979年到现在,已有报道约30篇,涉及的鱼类约70种次。

现就我们实验室所做鱼类染色体方面的工作介绍如下:

我们的工作是从70年代初开始的,1975年和长江水产研究所育种室共同发表了国内第一篇以鱼类染色体数目和核型为内容的报道。历年来,我们分别采用短期血培养、肾细胞培养,胚胎材料,活体注射秋水仙素,或事先注射PHA或10%的酵母液以增加鱼的肾细胞有丝分裂相等方法,对约120种鱼的染色体数目和核型进行了考察;测定过14种鱼的细胞DNA含量;对鱼类染色体的各种斑带技术和分带技术做了一些探索,建立了一种改良的姊妹染色单体分带(SCD)技术,克服了SCD技术在鱼类细胞中应用的困难。鱼类染色体多重带分带技术方面,复制带取得初步结果。C斑带和银染方面的工作也在进行。

* 本课题系中国科学院(82)科基金生准字第156号文批准科学基金资助,课题主持人为余先觉教授,参加了工作的人员有李康、李渝成、周密、余其兴、洪云汉、桂建芳、凌均秀等。

一、常见淡水鱼类染色体数目和核型 (见附表)

对分布在湖北省武汉市、沙市市及其附近水体, 广东省韶关地区北江水系等处的约 120 种鱼的染色体数目和核型做了不同程度的观察和分析, 为了更有利于分析比较, 我们也引用了国内其他人发表的鱼类核型资料 (包括和我们重复的共约 40 种)。总计为 138 种 (亚种), 分属于 8 目 18 科。其中鲤形目 101 种, 占总种类数的 73%, 单是鲤科有 98 种, 占总数的 71%; 鲇形目 21 种, 占 15%; 鲈形目有 10 种, 占 7%; 其余五目都只有 1—2 种。上述种类分类组成的情况, 虽有一定的人为影响, 但却也在很大程度上表明, 这些鱼类的地区性和常见程度。鲤形目 (主要是鲤科) 鱼类所占比例特大, 是与我国淡水鱼类区系和种群数量分布的总体情况基本相符的。

在这 138 种鱼中, 已知染色体二倍数最少的是 $2n=24$, 见于合鲃目黄鳍和鲇形目的白缘鲶, 但二者核型截然不同。染色体数最多的是银鲷 $2n=150 \pm$; 其次是鲤、鲫、泥鳅、刺鲃等 $2n=100$ 。都只限于鲤形目, 明显是多倍化类型。

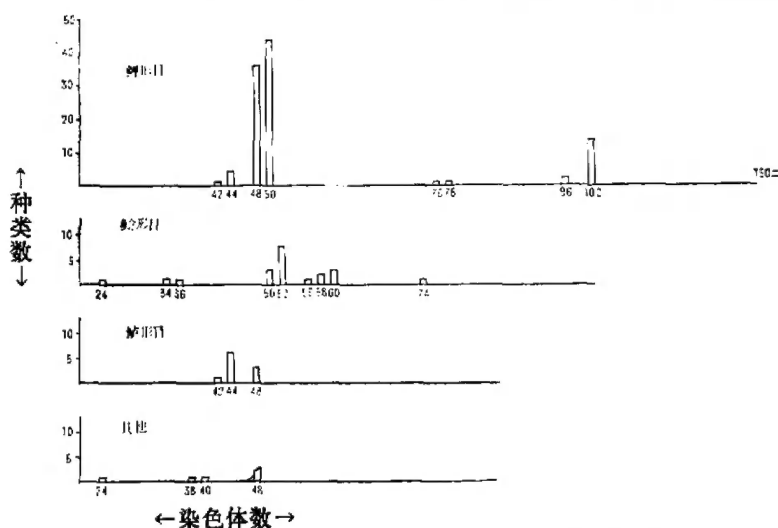
138 种鱼中出现有 18 种二倍数数值, 呈不连续分布。但在 44、48、50、52 和 100 五个数位处, 种类数相应集中。尤其是在 $2n=48$ 、50 的两个数位处, 种类数高达总数的 62.3%。其中主要是鲤科鱼类, 计 75 种, 单独占到 54.3%。 $2n=44$ 和 52 的种类数分别占 7.25% 和 5.8%, 主要是鲈形目和鲇形目的鱼类; $2n=100$ 的种类数占 10%, 纯属鲤形目。

鲤形目和鲇形目在鱼类系统演化上都属低位类群。二者染色体数目分布的离散度都大, 但分布情况不同。鲤形目有 42、44、(46) 48、50、76、78、96、100、156 九种, 主峰位在 48—50 处, 另在 100 处有一小峰, 低于 $2n=48$ 的情况仅限于鲃亚科的种类。从众数 48—50 向染色体数目增加方向的离散分布, 异常明显是不连续的, 只有 76—78; 96—100; 150 三群, 以 $2n=48-50$ 为基数, 相互间显然保持着 2:3:4:6 的关系, 这决非偶然, 而是暗示出一条多倍化的演化途径。在这 101 种鲤形目鱼类中, 染色体数目为 $2n=48$ 、50 的种类 (77 种) 占其总数的 76%, 除上述两种情况外, 没有其他类型。因此可以认为以 $2n=48$ 、50 为代表的基数亦即组型。鲤类染色体数目的演化是保守的。

反之, 在 21 种鲇类鱼中, 出现有 9 种二倍数。分为 $2n=24$; 34—36; 50—52; 56—60; 74 等五群。其中 $2n=52$ 种类最多, 在鲇类中占 38%, 其次为 $2n=50$ 和 $2n=60$ 两种。染色体的众数较鲤形目鱼类普遍上移, 但在个别的科、如钝头鲇科中也有染色体数目显著减少的情况。这种特化形式出现在低位类鱼中确是很独特的。(图 1)

鲈形目是鱼类系统演化上的高位类群。是鱼类中最大的一个目, 淡水种类却远少于鲤类, 国内工作尚只涉及其中五科 10 种, 且其中三种罗非鱼又非我国原产, 可供分析的资料过少, 但和鲇形目对比之下, 这 10 种鱼中只有 $2n=42$ 、44、48 三种染色体数, 其中 $2n=44$ 的六种, $2n=48$ 的三种, 结合针鱼、黄鳍等高位鱼的情况一起考虑, 仍不难看到高位类群鱼类染色体数目的分布呈收敛状态, 类别不多; 染色体数目趋于减少, 核型中 m 和 sm 染色体很少或缺, st、t 染色体成分明显增多, 染色体总臂数趋向减少。这种情况与 Ojima (1979) 对 700 多种鱼的染色体所作的分析, 情况是一致的。

核型结构及其演化的情况要复杂得多。不同的类群, 不同分类阶元, 情况各异, 表



图一 138种(亚种)鱼的染色体二倍数的分布情况

象万千, 同一分类群中, 近缘种的核型不一定类似, 甚至很不相同。反之, 不同分类群中的某些种类, 却可能不仅染色体数目、甚至染色体形态和分组组成外表十分一致。非斑带核型的外表与鱼类形态分类学位置矛盾而使人困惑的情况, 在鱼类中并不少见。在同一分类阶元内, 核型演化途径和表现形式也可能不同。

鲱形目是鱼类中仅次于鲈形目的第二个大目, 约3,000种, 全是淡水鱼, 几乎占现存淡水鱼种类总数的一半。我国是鲱类鱼最丰富的国家, 国内考察的这138种鱼中, 鲱类鱼占73%、达101种之多, 可见其物种分化是显著的。但核型演化相对显得很保守。101种鲱类鱼中出现9种染色体二倍数, 而鲈类中21种鱼同样也有9种二倍数, 核型的多样性往往与分类阶元中较原始的类群相联系, 这在鲱科鱼中是明显的。雅罗鱼亚科和鲱亚科中都出现有四种数目, 核型变化也较大, 而较特化的类群如鳊亚科、鲴亚科和鲢亚科, 这三个亚科不仅染色体数目毫无例外都是 $2n=48$, 而且染色体形态特征和分组组成也都很类似。鲃亚科也同样具有染色体数目高度一致($2n=50$)的特色, 但核型变化却极富多样性, 伍献文等(1977)根据形态结构特征的比较研究, 把鲃亚科鱼类分为原始型、基本型和特化型。根据我们对核型的分析, 发现二者之间有某种程度的一致性, 即属原始型种类的核型中, st和t染色体成分较多, 而在基本型种类的核型中有所下降, 在特化型种类的核型中t染色体基本消失。鲃亚科鱼类核型演化是在染色体数目高度稳定的基础上, 随分类地位的上升, m和sm染色体趋向增加而st, t染色体则趋向减少, NF数增加。鲱类鱼中染色体数目有变化的类群, 其核型演化的一种情况是通过多倍化途径, 如鲱亚科和鳊科, 不仅看到染色体数目成倍性的增加, 我们在测定其细胞DNA含量的结果中, 也得到证实。再如, 鲱形目鱼类中 $2n$ 数低于48-50这一基数的唯一现象只在鲢鱼亚科中见到。根据核型分析, 鲢鱼亚科的染色体数目有 $2n=48$ 、46、

44、42四种。 $2n=46$ 的类型国内尚未见到。在 $2n=48$ 、44、42的三种核型中, m 染色体的增减与 st , t 染色体数目的变化明显相关, 则每出现一对 m 染色体的增减, 总是相应地伴随染色体二倍数总数减少或增加2个。例如高体鳊 $2n=48$, 有5对 m 染色体; 大鳍刺鳊 $2n=44$, 有7对 m 染色体; 无须鳊 $2n=42$, 有8对 m 染色体, 这种规律性的变化, 很容易使人联想到着丝粒融合机制所导致的核型改变与此是相符的。无须鳊的核型是 $2n=42$, $16m+12sm+14st \cdot t$, $NF=70$ 。这是我们在鳊鱼类中首先发现的鲤科鱼中一种新核型, 这一发现对揭示鳊亚科鱼类染色体演化是很有利的。为此, 我们对无须鳊的核型做了C带验证分析。在鳊亚科非斑带的核型比较中, 不难看出 $2n=48$ 的核型中, 第一对 m 染色体并不是最大的染色体, 但在 $2n=44$ 、42的核型中第一对 m 染色体明显是最大的。无须鳊的C带核型显示, 其第1—3对 m 染色体着丝点C带明显较大, 约相当于其他染色体着丝点C带的一倍。(图版I, 图2) 染色体数目和形态特征以及对无须鳊核型C带分析, 三者都有助于表明鲤科鱼类存在有以鳊亚科鱼类为代表的另一种核型演化途径, 是通过着丝点融合方式。

在我们考察过的100余种鱼类中, 除黄鳝是雌雄同体, 雌先熟有性转化, 以及银鲫为雌核发育类型外。其他鱼类都是遗传上的异配生殖类型, 核型分析中绝大多数未见到性异形染色体。在短颌鲚的核型分析中, 发现两性个体体细胞染色体数有差异, 从武汉、沙市两地分别采到的两性个体4♀、30♂, 经反复验证核型, 确系♀ $2n=47$ 、♂ $2n=48$ 。据此, 初步认定这可能是一种前所未有的性决定型—ZZ/ZO型。(图版I, 图5.6.) 在其他鱼中, 鳊是具ZW/ZZ型性染色体的。C带分析, 有迹象显示另有几种鱼似乎也有可能具异形染色体, 但尚待进一步分析确定。

二、鱼类细胞DNA含量的研究

我们在对湖北两种泥鳅的染色体考察中发现, 大鳞付泥鳅核型是 $2n=48$, 普通鳊尾泥鳅是 $2n=100$, 而国外对此报道为 $2n=50$; 对黄鳝核型分析结果为 $2n=24$; 大多数鱼类是 $2n=48$ 或50; 鲤、鲫为 $2n=100$, 为了解染色体数和DNA含量的关系、查明 $2n=100$ 的泥鳅是否确系多倍化鱼, 我们选择了14种常见鱼对其细胞DNA含量进行了检测。这14种鱼及其染色体数和有关DNA含量测定的数据见表1。

测定方法是: 取血涂片, 空气干燥后, 经90%甲醇处理、随后以冰醋酸—甲醇(1:3)再固定, 充分气干后保存于70%甲醇中备用。标本采用Feulgen染色, 脱水, DPX封片待测。以显微荧光光度法测定, 仪器系北师大西德造MPV I显微光度计。氙光源, 激发滤片加干涉滤片采用2mmBG36+S546, 使通过的激发光束成为单色绿光。双色分光反射镜和内阻断滤片为TK580, 外阻断滤片为K610。目镜6.3X, 油浸物镜100X, 光电倍增管高压为1,000伏。测定时, 被测细胞的荧光信号经多道分析器处理后输入电子计算机进行数据处理, 最后由打印机给出, 经简单计算即得到每个细胞DNA含量的随机单位(A. U.)。

每个样品随机测定50个以上的红细胞, 以人淋巴细胞为对照细胞。以对照细胞的A. U. 值为100%, 并根据已知人淋巴细胞DNA含量为7微微克(pg.) 计算出每种鱼

的细胞DNA的相对含量和绝对含量。结果表明,绝大多数情况下,鱼类细胞DNA含量只有人类淋巴细胞DNA含量的30%左右。鱼类二倍体染色体数与其DNA含量是相关的。 $2n=44-58$ 的十种鱼的DNA含量均在 $2.0-2.9\mu\text{g}$ 之间。 $2n=48$ 的和 $2n=50$ 的类型二者间DNA值无显著差异($P>0.05$)。 $2n=100$ 的鲤鱼和泥鳅的细胞DNA含量高达 $3.5\mu\text{g}$ 和 $4.6\mu\text{g}$ 。相当于 $2n=48-50$ 的鱼类DNA含量的一倍。鱼的分类地位也与DNA含量有关,分类地位较高的鱼如:乌鳢、黄鳝DNA值均较低。上述结果和Hinegardner, Cimino, Hafez等测定约300种鱼的细胞DNA含量所得结果基本一致。泥鳅的DNA值约为大鳞付泥鳅的一倍,这也证明泥鳅是一种多倍性鱼。

表1 十四种鱼的细胞DNA含量

鱼 名	2 n 数	测定的 细胞数	随机单位 (A. U.) ($\bar{X} \pm S.E.$)	相对含量 (%)	绝对含量 (Pg)	
草鱼	Ctenopharyngodon idellus	48	50	10.88 ± 0.34	29.4	2.1
团头鲂	Megalobrama amblycephala	48	54	12.66 ± 0.38	34.2	2.4
百鲢	Hypophthalmichthys molitrix	48	53	10.68 ± 0.29	28.8	2.0
似刺鲃	Paracanthobrama guichenoti	50	55	13.63 ± 0.38	36.8	2.6
麦穗鱼	Pseudorasbora parva	50	66	13.29 ± 0.50	35.9	2.5
黑睛鳊	Sarcocheilichthys nigripinnis nigripinnis	50	50	13.19 ± 0.35	35.6	2.5
鲤鱼	Cyprinus carpio	100	62	18.28 ± 0.37	49.4	3.5
泥鳅	Misgurnus anguillicaudatus	100	56	24.37 ± 0.48	65.8	4.6
大鳞付泥鳅	Paramisgurnus dabryanus	48	57	11.75 ± 0.29	31.7	2.2
黄颡鱼	Pseudobagrus fulvidraco	52	53	10.52 ± 0.39	28.4	2.0
鲢鱼	Parasilurus asotus	58	54	15.26 ± 0.40	41.2	2.9
黄鳝	Monopterus albus	24	55	8.63 ± 0.23	23.3	1.6
尼罗罗非鱼	Tilapia nilotica	44	54	12.19 ± 0.42	32.9	2.3
乌鳢	Ophiocephalus argus	48	57	6.68 ± 0.25	18.1	1.3
人淋巴细胞 (对照标准)		100		37.03 ± 0.84	100.0	7.0

三、一种改良的SCD方法及其在鱼类细胞上的应用

姊妹染色单体交换(SCE)能敏感地反映染色体的损伤及其修复。虽然这种修复仅限于该染色体的两姊妹染色单体间的对等交换,理应不产生异常的遗传效应。但大量资料表明,不同的诱变剂,在同样克分子浓度,其诱发的SCE频率和突变频率,是随诱变剂的毒性增强而增加。在对化学物质诱变性的检测中,SCE分析法与经典的Ames法结果高度一致,(李昌本等,1979)加之SCE具有灵敏度高的优点。SCE检测方法早已被广泛作为鉴定化合物诱变作用的生物检测手段。将SCE检测应用于水质污染的生物学监测,以鱼类作为监测动物,是有意义的。鱼类在被污染水体中生活所积累的遗传损伤,有可能通过细胞的SCE反映并被检出。

显示细胞SCE的SCD技术发展很快。Korenberg等(1974)的热盐法;Wolff等

(1974) 的荧光加Giemsa法 (FPG) 等都是比较成熟而被广泛采用的, 在此基础上改进的SCD方法也不少。

国内有关SCE和SCD的研究甚多, 但在鱼类方面有关资料却很欠缺。原因是多方面的。鱼类染色体很难显示G带, 表明其结构与哺乳动物染色体确有某些差异。染色体多而小, SCE较难显示, 观察、分析也较难。Kligerman等 (1976) 曾报道采用活体注射BrdU, 以热盐法或FPG法对荫鱼 (*Umbra limi*) 做过SCE考察。

我们曾分别采用热盐法, UV—Giemsa法 (赵寿元等, 1981); 以及Goto等 (1975) 的硫堇—日光—姬姆萨法处理白鲢的培养肾细胞, 均未获得稳定而分化染色良好的效果。在前人实验基础上, 我们探索出一种改良的硫堇—UV—Giemsa法, 应用于白鲢, 鲫鱼, 大鳞付泥鳅的培养肾细胞, 以及IdU活体注射鲫鱼、大鳞付泥鳅取肾细胞制片进行SCD处理, 均取得了稳定的良好效果。此法的优点是方法简易, 效果稳定, 费用低廉, 容易掌握, 便于推广。

具体程序如下:

(一) 细胞的培养, BrdU或IdU的掺合, 制片前的预处理和制片方法都和常规的SCD相同。

(二) 硫堇—UV—Giemsa程序:

1) 以 $10^{-3}M$ 的硫堇蒸馏水溶液染20分钟。

2) 蒸馏水冲洗玻片; 用滤纸吸去其上多余水分; 将玻片平放于培养皿中, 用 $1M$ Na_2HPO_4 (pH8.2—8.3) 浸没玻片, 在水浴上保持45—50°C恒温。置紫外灯下, 20W, 距离3—5厘米, 照射15—30分钟。

3) 自来水冲洗玻片, Giemsa染色即成。(图版I, 图1)

对某些鱼 (如鲫鱼) 的细胞, 经上述程序处理, 若分化效果不理想, 则宜先用 $1M$ Na_2HPO_4 于60°C处理15—20分, 有明显加强SCD的效果。

用上述方法, 我们考察到白鲢的体外短期培养细胞在培养16—18小时开始出现第一代分裂细胞, 培养38小时即有11.5%的细胞进入第二次分裂周期。72—76小时, 第二代分裂细胞进入高峰期。第三次分裂细胞此时可达10%左右。

四、鱼类的染色体显带

染色体显带是60年代末兴起的一项细胞学新技术, 它采用某些细胞化学或免疫化学显色方法, 在染色体臂、着丝粒等区域显示出着色深浅或明暗相间的带纹, 从而使对单个染色体和染色体片段的识别成为可能。迄今, 各种染色体显带方法, 如C—、Q—、G—和R—显带等在哺乳类特别是人类染色体的研究中已成为重要的手段, 但鱼类的染色体显带, 则相形见绌, 仅C—斑带有成功的报道, Q—、G—和R—显带仍不成功。只有极个别鱼的G带略具成效。(Blaxhall, 1983) 现将我们历年来这方面工作的情况简介如下。

(一) 鱼类染色体的C—斑带

我们先后对十余种鱼进行了C—斑带染色, 现以无须鲮的C—斑带为例说明如下。

按Sumner (1972) 的BSG方法修改, 步骤如下:

- 1) 空气干燥法制备的染色体标本经Giemsa染色、拍照后用冰醋酸—甲醇 (1:3) 脱色, 晾干。
- 2) 0.2N HCl 溶液中室温处理30分钟。
- 3) 浸入新配的 5% Ba(OH)₂·8H₂O 溶液中 (60°C 水浴) 处理 8~10 分钟; 0.2 N HCl 溶液浸洗数秒, 蒸馏水充分漂洗。
- 4) 置60°C 水浴恒温的 2 × SSC 溶液中温育60分钟。
- 5) 蒸馏水漂洗后立即用1/10Giemsa染液 (0.15M 磷酸缓冲液 稀释, pH6.8) 染色20分钟。

无须鱗的42条染色体经C—斑带染色后均表现出染色较深而大小不一的着丝粒C—斑带, 同源染色体C—斑带的大小、位置和着色强度相同, 不同染色体的C—斑带有一定差异。常规染色很浅的一对随体经C—斑带染色后却着色特别深, 显示出随体与C—斑带的对应关系。我们曾根据鲟鳇亚科鱼类常规核型分析的结果提出, 着丝粒融合是该亚科鱼类核型演化的主要机制, 无须鱗 $2n=42$ 的核型是从类似于高体鲟 $2n=48$ 的核型经三次着丝粒融合的产物。无须鱗的C—斑带带型, 对此提供了旁证: 无须鱗的染色体着丝粒C—斑带大多较小, 只有3对m染色体即 m_1 、 m_2 和 m_3 的着丝粒C—斑带明显较大, 约相当于其它各对染色体着丝粒C—斑带的两倍。如果这三对m染色体果真是着丝粒融合的产物, 则它们的C—斑带的这种特征正是我们所期望的。(图版I, 图2)

对鲢、鲟、华鳊、蛇鲻、鳊、中华倒刺鲃、鳊、斑鳊等作C—斑带染色发现, 不同的鱼种、同一鱼种的不同个体或同一个体的不同片龄的染色体标本, 其C—显带条件差异很大。Ba(OH)₂处理是整个程序中关键的步骤。

(二) G—带和R—带

我们先后采用胰酶法、ASG法、尿素法等对鲢鱼、鲟鱼的染色体试行G—显带, 在前中期的细长染色体上, 可以出现许多对比度很低、特征不明显细弱带纹。到中期, 则往往是在同一个分裂相中, 有的染色体显示出带纹, 另一些染色体上带纹很模糊或不显示, 重复性很差, 难以取得理想效果。(图版I, 图6) 按Dutrillaux (1971, 1973) 的热磷酸盐法处理鱼类染色体, 也未获得清晰的R—带图象。

(三) 鱼类染色体的复制带

参照Schempp等 (1981) 和Cawood (1981) 等工作, 我们采用BrdU—Hoechst—Giemsa方法, 稍加修改应用于鱼类, 对大鳍刺鲃、鲢鱼、鲟鱼的染色体进行处理, 结果都比较稳定, 均可获得能够显示出多重带型 (multiple banding pattern) 的效果。

(图版I, 图3、4)

方法如下:

1) 细胞培养和制片

用含20%小牛血清的RPMI 1640培养液进行肾细胞培养, 经56小时后加入BrdU (终浓度10μg/ml), 继续避光培养18小时, 终止培养前2小时加入秋水仙素 (终浓度0.05 μg/ml), 培养温度26°C。常规空气干燥法制片。

2) 显带程序

①配制两种溶液:

PBS I: $0.15M$ NaCl, $0.03M$ KCl, $0.01M$ Na_2HPO_4 , pH6.8

PBS II: $0.05M$ NaCl, $0.001M$ KCl, $0.003M$ KH_2PO_4 , pH5.5

②存放24小时以上的上述制片, 在 $1\mu g/ml$ 的Hoechst33258溶液 (PBS I 配制) 中避光浸染15~20分钟。

③依次用蒸馏水和PBS II 洗涤, 将玻片平放在盛有 PBS II 的培养皿中, 使溶液刚好淹没玻片, 覆上擦镜纸, 20W紫外灯垂直照射30~40分钟, 照射距离5cm, 溶液温度 $45^{\circ}C$ 。

④蒸馏水冲洗, 浸入 $60^{\circ}C$ 水浴的 $2 \times SSC$ 溶液中温育60分钟, 蒸馏水缓缓冲洗后立即用1/20Giemsa染液 ($0.15M$ 磷酸缓冲液稀释, pH6.8) 染色12~15分钟。

不同的鱼, 其显带条件稍有差异, 主要是在紫外光处理的时间不完全一样。片龄也有关系, 大鳍刺鲃染色体标本的片龄以1—5天最佳。花鲢和白鲢的片龄则以3—10天的为好。片龄长, 紫外光照射和 $2 \times SSC$ 处理的时间要适当增加。

在我们的实验中, BrdU一次连续处理的时间, 以18小时效果最好, 半数以上的分裂相染色体上带纹丰富, 显示具早复制特征。处理时间不足, 不能显示带纹或出现带纹分化的细胞很少。超过18小时以上, 少数细胞出现SCD现象。由于鱼类染色体太小, 前期末染色体过细, 带纹纤弱难辨。正中期染色体短小, 带纹展示不良。早中期染色体大小适度, 带纹清晰, 特征的表现性强。例如, 大鳍刺鲃的m染色体均表现出近着丝粒区浅染并伸展的明显特征。(图版I, 图3)

参 考 文 献

- [1] 王春元等 1982 遗传学报 9 (3): 238—242
- [2] 长江水产研究所育种室、武汉大学生物系动物教研室 1975 淡水渔业科技杂志 2: 11—12
- [3] 伍献文等 1963 中国经济动物志——淡水鱼类, 科学出版社。
- [4] 伍献文等 1964 中国鲤科鱼类志 (上卷), 上海科学技术出版社。
- [5] 伍献文等 1977 中国鲤科鱼类志 (下卷), 上海人民出版社。
- [6] 刘凌云 1980 动物学报 26 (2): 126—131
- [7] ——1981a 遗传学报 8 (3): 251—255
- [8] ——1981b 北京师范大学学报 (自然科学版) 3: 79—83
- [9] 庄吉耀等 1982 北京师范大学学报 (自然科学版) 3: 81—83
- [10] 吴政安等 1980 遗传学报 7 (4): 370—375
- [11] ——1981 动物学集刊 1: 167—172
- [12] 杨慧一 1982 遗传学报 9 (2): 143—146
- [13] 陈敏蓉等 1983 遗传学报 10 (1): 56—62
- [14] 沈俊宝等 1983 遗传 5 (2): 23—24
- [15] 李康等 1983 动物学研究 4 (1): 75—80
- [16] 李渝成等 1982 武汉大学学报 (自然科学版) 1: 55—58
- [17] ——1983 遗传学报 10 (3): 216—222
- [18] 李树深 1981 遗传 3 (1): 23—24
- [19] ——1981 鱼类学论文集 (第二辑) (科学出版社) pp. 153—155
- [20] 李树深等 1983 遗传 5 (4): 25—28

- [21] 周敏 1980 淡水渔业, 4:3—7
- [22] 周敏等 1980 武汉大学学报(自然科学版), 4:112—116
- [23] 武汉大学生物系细胞生物学实验室, 1981: 武汉大学学报(自然科学版) 3:14
- [24] 武汉大学生物系细胞遗传学实验室, 1983: 武汉大学学报(自然科学版) 3:123—125
- [25] 洪云汉等 1983a 武汉大学学报(自然科学版) 2:96—102
- [26] ———— 1983b 武汉大学学报(自然科学版) 3
- [27] 替瑞光等 1979 遗传学报6(2):205—210
- [28] ———— 1980a 遗传学报7(1):72—77
- [29] ———— 1980b 动物学研究1(2):141—145
- [30] 赵守诚等 1982 淡水渔业 4:24
- [31] 凌均秀 1982 武汉大学学报(自然科学版) 2:109—112
- [32] 潘炳华等 1981 华南师院学报(自然科学版) 2:1—22
- [33] Blaxhall, P. C. 1983 J. Fish Biol. 22, 417—424.
- [34] Cawood, A. H. 1981 Chromosoma (Berl.) 83, 711—720.
- [35] Chen, T. R. 1970 J. Fisheries Res. Board Cana. 27(1):168—161.
- [36] Cimino, M. C., 1974 Chromosoma (Berl.) 47(3):297—307.
- [37] Goto, K. et al. 1975 Chromosoma (Berl.) 53, 223—230.
- [38] Hafez, R. 1978 Extrait du Bulletin de la Societe d'Histoire Naturelle de Toulouse T. 144, Fasc. 1—2.
- [39] Heckman, J. R. et al., 1970 Progr. Fishculturist, 32:206—280.
- [40] Hinegardner, R. et al. 1972 American Naturalist, 106 (951):621—644.
- [41] Kligerman, A. D. et al. 1976 Chromosoma (Berl.) 56, 101—109.
- [42] Korenberg, J R. et al. 1974 Chromosoma (Berl.) 48:355—360.
- [43] Ojima, Y. et al. 1966 Proc. Japan Acad. 42:62—66.
- [44] Ojima, Y. et al. 1970 Japan J. Genet. 45(2):161—162.
- [45] Ojima, Y. et al. 1972 Japan J. Genet. 47(6):445—446.
- [46] Schempp, W. et al. 1981 Chromosoma (Berl.) 83:697—710.
- [47] Sumner, A. T. 1972 Exptl. Cell Res. 75(1):304—306.
- [48] Wolff, S. et al. 1974 Chromosoma (Berl.) 48:341—353.
- [49] Yamamoto, K., et al. 1973 L Japan J. Genet. 48(3): 235—238.
- [50] 小島吉雄 1979 水产生物の遺伝て育種46—62
- [51] Васильев, В. П., 1980 Вопросы Ихтиологии, 20(3):387—422

附表

附表：我国部分淡水鱼类的核型

Species 种类	2n	核 型	NF	作 者
Anguillidae 鳗鲡科				
Anguilla japonica 鳗鲡	38			
Engraulidae 鲱科				
Coilia brachygnathus (♀) 短颌鲚	47	47 t	47	
" " (♂)	48	48 t	48	
Cyprinidae 鲤科				
Leuciscinae 雅罗鱼亚科				
Ctenopharyngodon idellus 草鱼	48	16m + 26sm + 6 st	88	
" " "	48	16m + 32sm	96	刘凌云, 1980
" " "	48	18m + 22sm + 8 st	88	普瑞光等, 1979
Mylopharyngodon piceus 青鱼	48	14m + 34sm + st	(96)	
Squaliobarbus curriculus 赤眼鳟	48	14m + 30sm + 4 st	92	
Elopichthys bambusa 鳊	48	10m + 24sm + 12st + 2t	82	
Luciobrama macrocephalus 鳊	48	12m + 22sm + 12 + 2t	82	
Ochetobius elongatus 鳊	48	10m + 16sm + 22st	74	
Phoxinus lagowskii chorensis 鲌鱼	48	24m + 4st + 20t	72	赵守诚, 1982
Leuciscus leuciscus 雅罗鱼	50			
Opsariichthys unirostris bidens 南方马口鱼	76			
Zacco platypus 宽鳍鱮	78			
Abramidinae 鲮亚科				
Hemiculter leuciscus 鲮条	48	16m + 26sm + 6 st	90	
H. bleekeri bleekeri 油鲮	48	16m + 26sm + 6 st	90	
Erythroculter ilishaeformis 翘嘴红鲌	48	16m + 26sm + 6 st	90	
E. mongolicus 蒙古红鲌	48	14m + 28sm + 6 st	90	
E. dabryi 青梢红鲌	48	16m + 28sm + 4 st	92	
E. oxycephaloides 拟尖头红鲌	48	20m + 24sm + 4 st	92	
E. hypselonotus 大眼红鲌	48			
Culter erythropterus 红鳍鲌	48	16m + 26sm + 6 st	90	
Pseudohemiculter dispar 南方拟鲮	48			
Megalobrama amblycephala 团头鲂	48	18m + 26sm + 4 st	92	
" " "	48	20m + 24sm + 4 st	92	普瑞光等, 1979
M. terminalis 三角鲂	48	14m + 26sm + 8 st	88	
Sinibrama melrosei 海南华鲮	48			
Parabramis pekinensis 长春鲮	48	14m + 26sm + 8 st	88	
Hemiculterella sp. 半鲮 (未定种)	48			
Pseudolaubuca engraulis 麦穗鱼	48			
Anabarilius andersoni 星点白鱼	48	12m + 24sm + 12st	84	普瑞光等, 1979
A. macrolepis 大鳞白鱼	48	12m + 24sm + 12st	84	" "

续上表

Species 种类	2n	核 型	NF	作 者
<i>A. grahami</i> 簾鰮白鱼	48	12m + 24sm + 12st	84	曾瑞光等, 1979
<i>A. alburnops</i> 银白鱼	48	14m + 20sm + 14st	82	" "
Xenocyprinae 鲢亚科				
<i>Xenocypris argentea</i> 银鲢	48	20m + 26sm + 2 st	94	
<i>X. davidi</i> 黄尾鲢	48	18m + 26sm + 4 st	92	
<i>Plagiognathops microlepis</i> 细鳞斜颌鲴	48	18m + 26sm + 4 st	92	
<i>Acanthobrama simoni</i> 逆鱼	48	18m + 26sm + 4 st	92	
Hypophthalmichthyinae 鲢亚科				
<i>Hypophthalmichthys molitrix</i> 鲢	48			1975
" " "	48	14m + 24sm + 10st	86	曾瑞光等, 1980
" " "	48	24m + 16sm + 8 st	(96)	刘凌云, 1981
<i>Aristichthys nobilis</i> 鲮	48	26m + 20sm + 2 st	(96)	刘凌云, 1981
" " "	48	14m + 24sm + 10st	86	曾瑞光等, 1980
" " "	48	6 m + 36sm + 6 st	(96)	
Barbinae 鲃亚科				
<i>Barbodes caldwelli</i> 刺鲃	100			
<i>B. denticulatus denticulatus</i> 倒刺鲃	100			
<i>B. sinensis</i> 中华倒刺鲃	100	14m + 42m + 18st + 26t	156	李树深等, 1983
<i>Sinocyclocheilus grahami grahami</i> 金线鱼	96	22m + 36sm + 38st. t	154	李树深等, 1983
<i>S. g. tingi</i> 抚仙金线鱼	96	20m + 32sm + 44st. t	154	李树深等, 1983
<i>Capoeta semifasciolata</i> 条纹二须鲃	50			
<i>Acrossocheilus parallens</i> 侧条厚唇鱼	50			
<i>A. wenchowensis beijiangensis</i> 北江厚唇鱼	50			
<i>A. iridescens Zhujiangensis</i> 珠江虹彩光唇	50			
<i>Varicorhinus gerlachi</i> 南方白甲鱼	50			
<i>Tor brevifilis brevifilis</i> 瓣结鱼	50			
<i>Sinilabeo decorus tunting</i> 湘华鲮	50			王祖熊等, 1983
<i>Labeo rohita</i> 露斯塔野鲮	50			
<i>Cirrhinus molitorella</i> 鲮鱼	50			
<i>Garra orientalis</i> 东方墨头鱼	50			
<i>Parasinilabeo assimilis</i> 异华鲮	50			
<i>Semilabeo notabilis</i> 唇鱼	50			
<i>Discogobio tetrabarbatus</i> 四须盘鲃	50			
Cyprininae 鲤亚科				
<i>Cyprinus carpio</i> 鲤	100	12m + 40sm + 48st. t	152	吴政安等, 1980
" "	100	22m + 30sm + 48st. t	152	曾瑞光, 1980
<i>C. longipectoralis</i> 春鲤	100	22m + 30sm + 48st. t	152	" "
<i>C. megalophthalmus</i> 大眼鲤	100	22m + 30sm + 48st. t	152	" "
<i>C. pellegrini barbutus</i> 洱海大头鲤	100	22m + 30sm + 48st. t	152	" "
<i>C. micristius fuxianensis</i> 抚仙小鲤	100	22m + 30sm + 48st. t	152	" "
<i>C. carpio chilia</i> 杞麓鲤	100	22m + 30sm + 48st. t	152	" "

续上表

Species 种类	2n	核 型	NF	作 者
<i>C. carpio rubrofusces</i> 华南鲤	100	22m + 30sm + 48st. t	152	普瑞光, 1980
<i>Carassius auratus auratus</i> 鲫	100	22m + 30sm + 48st. t	152	" "
" " 鲫	100	12m + 40sm + 48st. t	152	吴政安等, 1980
" " 鲫 (金鱼)	100	24m + 30sm + 46st. t	154	王春元等, 1982
" " 鲫	100			
" " 鲫	150 ±			
<i>Carassioides cantonensis</i> 须鲢	100			
Gobioninae 鲈亚科				
<i>Hemibarbus maculatus</i> 花鲢	50	16m + 14sm + 16st + 4t	80	
<i>H. labeo</i> 唇鲢	50			
<i>H. longirostris</i> 长吻鲢	50			
<i>Rhinogobio typus</i> 吻鲈	50	14m + 22sm + 12st + 2t	86	
<i>R. cylindricus</i> 圆筒吻鲈	50	14m + 22sm + 12st + 2t	86	
<i>Coreius heterodon</i> 铜鱼	50	16m + 22sm + 10st + 2t	88	
<i>C. guichenoti</i> 圆口铜鱼	50	16m + 22sm + 10st + 2t	88	
<i>Paracanthobrama guichenoti</i> 拟刺鲈	50	18m + 20sm + 10st + 2t	88	
<i>Sarcocheilichthys sinensis sinensis</i> 华鲮	50	18m + 22sm + 8 st + 2t	90	
<i>S. nigripinis nigripinis</i> 黑鳍鲮	50	18m + 22sm + 10st	90	
<i>S. parvus</i> 小鲮	50			
<i>S. kiangsiensis</i> 江西鲮	50			
<i>Pseudogobio vaillanti</i> 似鲈	50			
<i>Pseudorasbora parva</i> 麦穗	50	18m + 22sm + 10st	90	
<i>Saurogobio dabryi</i> 蛇鲈	50	18m + 26sm + 6 st	94	
<i>S. dumerili</i> 长蛇鲈	50	18m + 26sm + 6 st	94	
<i>S. gymnocheilus</i> 光唇蛇鲈	50	18m + 24sm + 8 st	92	
<i>Huigobio chensiensis</i> 嵯县胡鲈	50			
<i>Gnathopogon argentatus</i> 银色颌须鲈	50	22m + 26sm + 2 st	98	
<i>G. sihuensis</i> 西湖颌须鲈	50			
<i>Abbottina rivularis</i> 棒花鱼	50	24m + 24sm + 2 st	98	
<i>A. kiatingensis</i> 乐山棒花鱼	50			
<i>A. labeooides</i> 似鲮棒花鱼	50			
Gobiobotinae 鲈鲈亚科				
<i>Gobiobotia ichangensis</i> 宜昌鲈鲈	50	32m + 12sm + 6st. t	94	李树深等, 1983
<i>G. boulengeri</i> 异鳞鲈鲈	50	24m + 14sm + 12st. t	88	" "
<i>G. longibarba meridionalis</i> 南方长须鲈鲈	50			
Acheilognathinae 鲈鲈亚科				
<i>Rhodeus sinensis</i> 中华鲈鲈	48	12m + 28sm + 8st. t	88	吴政安等, 1981
" " "	48	14m + 28sm + 6st. t	90	李树深等, 1983
" " "	48			
<i>R. sericeus</i> 黑龙江鲈鲈	48			
<i>R. ocellatus ocellatus</i> 高体鲈鲈	48	10m + 24sm + 14st	82	

续上表

Species 种类	2n	核 型	NF	作 者
<i>Paracheilognathus imberbis</i> 形副鳊	44	14m + 18sm + 12st	76	
<i>Acanthorhodeus macropterus</i> 大鳍刺鲃	44	14m + 18sm + 12st + t	76	
<i>A. chankaensis</i> 兴凯刺鲃	44	14m + 14sm + 16st	72	
<i>A. tonkinensis</i> 越南刺鲃	44			
<i>Acheilognathus gracilis</i> 无须鲮	42	16m + 12sm + 14st	70	
Cobitidae 鲃科				
<i>Misgurnus anguillicaudatus</i> 泥鳅	100	16m + 12sm + 0st + 72t	128	
<i>Paramisgurnus dabryanus</i> 大鳞付泥鳅	48	12m + 4sm + 0st + 32t	64	
<i>Parabotia fasciata</i> 花斑付沙鳅	50			
Clariidae 胡子鲇科				
<i>Clarias batrachus</i> 胡子鲇	56			
Siluridae 鲇科				
<i>Silurus asotus</i> 鲇	58	20m + 24sm + 10st + 4t	102	
<i>S. soldatovi meridionalis</i> 南方大口鲇	58	20m + 20sm + 14st + 4t	98	
Bagridae 鮠科				
<i>Mystus macropterus</i> 大鳍鲶	60	20m + 12sm + 16st + 12t	92	
<i>M. guttatus</i> 斑鲶	60			
<i>M. elongatus</i> 长鲶	60			
<i>Pelteobagrus fulvidraco</i> 黄颡	52	24m + 14sm + 10st + 4t	90	
(<i>Pseudobagrus fulvidraco</i>)	52	22m + 24sm + st + 6t	(98)	凌均秀 (本室) 1982
(<i>P. fulvidraco</i>)	52	28m + 12sm + 12st	92	沈俊宝等, 1983
<i>P. vachellii</i> 瓦氏黄颡	52	22m + 16sm + 14st	90	
<i>P. nitidus</i> 光泽黄颡	52	20m + 16sm + 16st	88	
<i>P. eupogon</i> 长须黄颡	50	20m + 14sm + 16st	84	
<i>Leiocassis adiposalis</i> 脂鲤	50			
<i>L. longirostris</i> 长吻鲇	52	20m + 16sm + 16st	88	
<i>L. crassilabris</i> 粗唇鲇	52	24m + 14sm + 14st	90	
<i>Pseudobagrus ussuriensis</i> 乌苏里拟鲇	52	24m + 18sm + 10st	94	
<i>P. tenuis</i> 圆尾拟鲇	52	22m + 16sm + 14st	90	
Amblycipitidae 钝头鲃科				
<i>Leiobagrus marginatus</i> 白缘鲃	24	20m + 4 sm	48	李树深等, 1981
<i>L. anguillicauda</i> 鳗尾鲃	34	20m + 12sm + 2t	66	李树深等, 1983
Sisoridae 鲇科				
<i>Coregonis kishinouyei</i> 石爬鲇	50	16m + 14sm + 30st + t	70	李树深等, 1981

续上表

Species 种类	2n	核 型	NF	作 者
<i>Euchiloglanis davidi</i> 青鳉	36	6m + 8sm + 22st.t	50	李树深等, 1981
<i>Glyptothorax fujianensis</i> 福建纹胸鮡	52			
Cranoglanididae 歪鲮科				
<i>Cranoglanis sinensis</i> 歪鲮	74			
Serranidae 鲈科				
<i>Spiniperca chuatsi</i> 鲈	48	22sm. st + 26t	(68)	
" " 鲈	48	24sm.st + 24t		杨慧一等, 1982
<i>S. kneri</i> 大眼鲈	48			
Eleotridae 塘鳢科				
<i>Odontobutis</i> 塘鳢	44			
Gobiidae 鰕虎鱼科				
(<i>Rhinogobius giurinus</i> 吻鰕虎鱼	44	44st.t	44	李树深等, 1983
<i>Ctenogobius giurinus</i> 普带鰕虎	44	44t	44	
Ophiocephalidae 魮科				
<i>Ophiocephalus argus</i> 乌魮	48	20sm.st + 28t	(68)	
<i>O. maculatus</i> 斑魮	48	45m + 22st + 22t	(74)	庄吉珊等, 1982
<i>Channa asiatica</i> 月魮	42			
Cichlidae 慈鱼科	44			
<i>Tilapia mossambica</i> 莫三比克罗非鱼	44	12sm. st + 32t	(56)	
" " "	44	8sm + 36st	52	陈敏春等, 1983
<i>T. nilotica</i> 尼罗罗非鱼	44	"		"
<i>T. galilea</i> 加利罗非鱼	44	"		"
Mastacembelidae 刺鲈科				
<i>Mastacembelus sinensis</i> 刺鲈	48			
<i>M. armatus</i> 大刺鲈	48			
Hemirhamphidae 针鱼科				
<i>Hemirhamphus kurumeus</i> 针鱼	40	2m + 38t	42	
Symbranchidae 合鳃科				
<i>Monopterus albus</i> 黄鳝	24	24 t	42	

附注: 表内未注明作者的均为本实验室研究结果